

# Совместное определение сопротивления статора и постоянной времени ротора асинхронной машины

Однолько, Д.С.

Белорусский национальный технический университет, e-mail: [odnolkod@tut.by](mailto:odnolkod@tut.by)

*Synthesized algorithm for the active resistance stator and rotor time constant induction motor with a fixed rotor. The basis of the observer laid the mathematical model of asynchronous motor in stationary coordinate system. The algorithm is based on the phased application of recursive least squares method which guarantees high accuracy of the parameter estimates for the minimum time. To use the identifier to have information on the inductance of stator, rotor and mutual inductance. Simulation results show the effectiveness of the proposed method of identification.*

## ВВЕДЕНИЕ

Современный частотно-регулируемый электропривод (ЧРЭП) является интеллектуальной системой, обладающей возможностью самодиагностики и способной реализовать свои функции без постоянного вмешательства человека. Обеспечение такой автономности во многом зависит от точной информации о параметрах электромеханической системы асинхронной машины. К наиболее важным параметрам, во многом определяющим эффективность работы ЧРЭП, принято относить активное сопротивление статора и электромагнитную постоянную времени короткозамкнутого ротора. Проблема идентификации параметров нелинейных многомерных объектов с частично измеряемым вектором состояния до настоящего времени не имеет общего теоретического решения. При этом ряд подходов в решении данной задачи заимствован из теории оптимального управления без строгого теоретического обоснования.

В работе [1] авторами отражены решения задачи идентификации, которые были предложены в зарубежной литературе в последние десятилетия. Среди них алгоритмы на основе расширенного фильтра Калмана, метода наименьших квадратов, метод частотных характеристик. Ряд решений предполагает применение теории адаптивных систем. Так алгоритм [1] синтезирован в виде адаптивного наблюдателя потокосцепления статора асинхронного двигателя (АД) и представляет собой динамическую систему девятого порядка. При этом в работе решается задача идентификации индуктивности статора и ротора (при условии их равенства), взаимной индуктивности и активного сопротивления ротора, при известном сопротивлении статора. Алгоритм может быть использован как при однофазном возбуждении, так и при трехфазном управлении АД. Недостатком метода является отсутствие процедуры расчета настроечных коэффициентов наблюдателя.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Система дифференциальных уравнений, соответствующая эквивалентной схеме замещения фазы АД в неподвижной относительно статора системе координат ( $a$ - $b$ ) имеет вид:

$$\begin{aligned} di_{sa}/dt &= -R_s(\sigma L_s)^{-1}i_{sa} - \alpha(1 + L_m\beta)\dot{i}_{sa} + \alpha(\sigma L_s)^{-1}\psi_{sa} + (\sigma L_s)^{-1}u_{sa}; \\ d\psi_{sa}/dt &= -R_s i_{sa} + u_{sa}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $i_{sa}$ ,  $u_{sa}$ ,  $\psi_{sa}$  – ток, напряжение и потокосцепление статора по оси  $a$ . Параметры  $\sigma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$  определены:

$$\sigma = 1 - L_m^2/L_s L_r, \quad \beta = L_m/\sigma L_s L_r, \quad \alpha = R_r/L_r = 1/T_r,$$

где  $R_s$ ,  $R_r$  – активные сопротивления статора и ротора;  $L_s$ ,  $L_r$ ,  $L_m$  – индуктивность статора, ротора и цепи намагничивания;  $T_r$  – постоянная времени короткозамкнутого ротора.

Вектор состояния системы (1) содержит переменную  $\psi_{sa}$ , которая в большинстве ЧРЭП напрямую не измеряется. Поэтому после преобразований, направленных на исключение  $\psi_{sa}$ , математическая модель (1) примет вид линейного дифференциального уравнения второго порядка относительно тока статора:

$$\begin{aligned} 0 = & -\frac{d^2 i_{sa}}{dt^2} - R_s(\sigma L_s)^{-1} \frac{di_{sa}}{dt} - \alpha(1 + L_m\beta) \dot{i}_{sa} - \alpha(\sigma L_s)^{-1} R_s i_{sa} + \\ & + \alpha(\sigma L_s)^{-1} u_{sa} + (\sigma L_s)^{-1} \frac{du_{sa}}{dt}. \end{aligned} \quad (2)$$

К сформированной модели (2) применяется метод наименьших квадратов [2]. При этом задача синтеза наблюдателя строится на основании следующих критериев оптимальности:

$$\begin{cases} F(R_s) = E^2(R_s) = (Z_s - \Psi(R_s))^T (Z_s - \Psi(R_s)) \rightarrow \min_{R_s}, \\ F(\alpha) = E^2(\alpha) = (Z_\alpha - \Psi(\alpha))^T (Z_\alpha - \Psi(\alpha)) \rightarrow \min_\alpha, \end{cases} \quad (3)$$

где  $E(R_s)$ ,  $E(\alpha)$  – ошибки измерений  $R_s$ ,  $\alpha$ .

Параметры  $Z_s, Z_\alpha, \Psi_s, \Psi_\alpha$  определены следующими выражениями:

$$Z_s = -\frac{d^2 i_{s\alpha}}{dt^2} - \alpha(1 + L_m \beta) \frac{di_{s\alpha}}{dt} + \alpha(\sigma L_s)^{-1} u_{s\alpha} + (\sigma L_s)^{-1} \frac{du_{s\alpha}}{dt};$$

$$\Psi(R_s) = \left( (\sigma L_s)^{-1} \frac{di_{s\alpha}}{dt} + \alpha(\sigma L_s)^{-1} i_{s\alpha} \right) \cdot R_s = Q_s \cdot R_s;$$

$$Z_\alpha = -\frac{d^2 i_{s\alpha}}{dt^2} + (\sigma L_s)^{-1} \frac{du_{s\alpha}}{dt} - (\sigma L_s)^{-1} R_s \frac{di_{s\alpha}}{dt}; \quad \Psi(\alpha) = \left( (1 + L_m \beta) \frac{di_{s\alpha}}{dt} - (\sigma L_s)^{-1} u_{s\alpha} + (\sigma L_s)^{-1} R_s i_{s\alpha} \right) \cdot \alpha = Q_\alpha \cdot \alpha.$$

Решение оптимизационной задачи (3) позволяет получить аналитическое выражение для оценки активного статорного сопротивления и величины обратной постоянной времени короткозамкнутого ротора:

$$\begin{aligned} R_s &= R_s^{(0)} + (Q_s^T Q_s)^{-1} Q_s^T (Z_s - \Psi(R_s^{(0)})); \\ \alpha &= \alpha^{(0)} + (Q_\alpha^T Q_\alpha)^{-1} Q_\alpha^T (Z_\alpha - \Psi(\alpha^{(0)})), \end{aligned}$$

где  $R_s^{(0)}$ ,  $\alpha^{(0)}$  – начальные значения процедуры оценки.

Предложенный наблюдатель исследован методом имитационного моделирования. При исследовании начальные значения идентифицируемых параметров приняты нулевыми. Наблюдатель тестировался с АД модели АИР132М4, паспортные значения оцениваемых параметров:  $R_s=0.517$  Ом,  $T_r=0.22$  с. Моделирование проводилось для варианта, когда активные сопротивления АД выше номинальных на 50%. Результаты исследований представлены на рис. 1-2 в виде графиков протекания процедуры оценки.

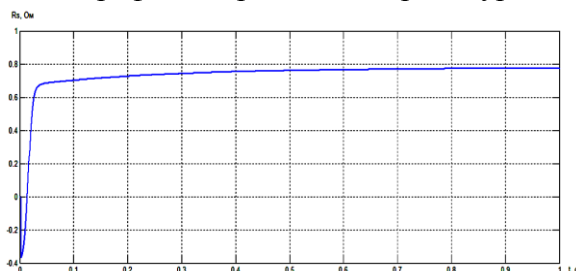


Рисунок 1 – Идентификация сопротивления статора

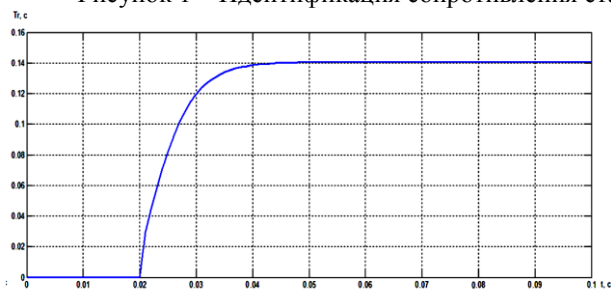


Рисунок 2 – Идентификация постоянной времени ротора

По результатам работы алгоритма значения параметров определены на уровне  $R_s^*=0.776$  Ом,  $T_r^*=0.14$  с. При этом погрешность в оценке сопротивления статора менее 1%, электромагнитной постоянной времени ротора около 5%.

## ВЫВОДЫ

Синтезированный наблюдатель позволяет эффективно решать задачу оценки наиболее важных параметров схеме замещения машины в режиме неподвижного ротора, при этом предполагаются известными значения индуктивностей обмоток АД.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Пересада С. М. Новый алгоритм идентификации электрических параметров асинхронного двигателя на основе адаптивного наблюдателя полного порядка / С.М. Пересада, А.Н. Серда // Технічна електродинаміка. - 2005.- №5.- С. 32-40.

- [2] Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. – М.: Наука, 1984. – 320 с.